

# Travaux Pratiques de Physique

Lycée  
Charlemagne  
Paris

## MP

**2 heures**

**Calculatrices autorisées**

## Interféromètre de Michelson

### Objectif

L'objectif de ce TP est l'apprentissage des réglages de base nécessaires à l'utilisation d'un interféromètre de Michelson et son utilisation pour quelques mesures.

L'interféromètre de Michelson est un appareil de grande précision dont les surfaces optiques sont de planéité au moins  $\lambda/20$ .

**IL DOIT ÊTRE MANIPULÉ AVEC BEAUCOUP DE SOIN**

**Ne JAMAIS, en aucun cas, toucher les miroirs ou les lames (séparatrice et compensatrice) et ne jamais forcer sur les vis !**

**Les ampoules des lampes spectrales sont fragiles et coûteuses. Il ne faut ni rallumer ni déplacer brutalement une ampoule encore chaude.**

Le protocole de réglage des interféromètres dont les lames séparatrice et compensatrice ont subi un traitement anti-reflet est légèrement différent de celui présenté dans la première partie. Pour savoir si les lames ont subi un traitement anti-reflet, il suffit de regarder si on obtient des images multiples lors du réglage géométrique de la compensatrice.

### Pour préparer le TP

- Le Michelson au contact optique est éclairé par de la lumière blanche. On place sur l'un des bras de l'interféromètre une lame de verre d'épaisseur  $e$  et d'indice  $n$  supposé indépendant de la longueur d'onde. Pour retrouver les teintes de Newton, il faut translater le miroir  $M_1$  d'une distance  $d$ . Établir une relation entre  $e$  et  $d$ .
- On considère un Michelson réglé aux anneaux et éclairé par une lampe spectrale au sodium. Par une translation du miroir  $M_1$ , on observe une succession de coïncidences et d'anticoïncidences. Établir l'expression de la différence de longueur d'onde  $\Delta\lambda$  entre les deux composantes du doublet en fonction du déplacement  $d$  du miroir entre deux anti-coïncidences.



Michelson SOPRA

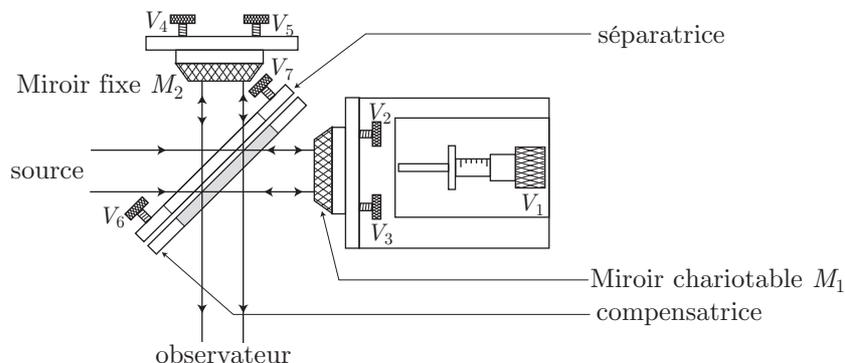


Michelson DIDALAB

## I- Réglages géométriques du Michelson

L'interféromètre possède plusieurs vis de réglage :

- ( $V_2$ ) et ( $V_3$ ) : réglage rapide de l'orientation du miroir  $M_1$  ;
- ( $V_1$ ) : translation du miroir  $M_1$  le long de son axe ;
- ( $V_4$ ) et ( $V_5$ ) : réglage fin de l'orientation du miroir  $M_2$  ;
- ( $V_6$ ) et ( $V_7$ ) : réglage de l'orientation de la compensatrice.



La compensatrice est réglable à l'aide de deux vis de rotation  $V_6$  et  $V_7$  autour de l'axe vertical ( $OZ$ ) et d'un axe horizontal (bissectrice de ( $OX$ ) et ( $OY$ )).

Chaque miroir possède deux vis de rotation. Pour  $M_1$ ,  $V_2$  et  $V_3$  permettent de faire tourner le miroir autour de l'axe ( $OZ$ ) ; ce sont les vis de rotation rapide. Pour  $M_2$ ,  $V_4$  et  $V_5$  sont des vis de rotation lente autour de l'axe  $OZ$ .

Seul le miroir  $M_1$  est translatable grâce à une vis dite de *chariotage* ( $V_1$ ). Son tambour est gradué en 50 graduations. La marge de déplacement du miroir  $M_1$  est de quelques centimètres pour les interféromètres utilisés en TP.

Le Michelson réel possède à l'entrée un verre anti-calorique pour éviter l'échauffement et la déformation des miroirs sous l'action des infra-rouges.

**À cette étape du TP, ne pas modifier les réglages du Michelson (chariotage ou vis) !**

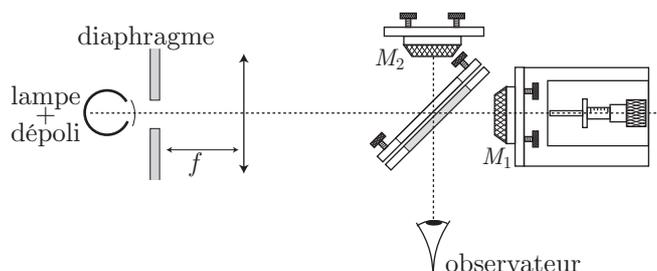
### 1. Réglage géométrique de la compensatrice

*Le but de cette partie est de rendre la séparatrice et la compensatrice parallèles.*

Ce réglage peut être fait à l'aide de n'importe quelle lampe, lampe de bureau par exemple, mais l'utilisation de la lampe Hg sera plus confortable. Un dépoli sera placé devant la source afin de rendre l'éclairement plus homogène et moins éblouissant.

Un faisceau lumineux parallèle sera réalisé, par autocollimation, avec un diaphragme circulaire presque totalement fermé placé au foyer d'une lentille convergente (distance focale 10 cm ou 15 cm).

Placer le système diaphragme-lentille dans l'axe des deux lames, de sorte que le faisceau de rayons parallèles, issu du dispositif collimateur, arrive à peu près normalement sur les lames. Placer une lampe au mercure basse pression derrière le diaphragme. Observer à l'œil nu, sans accommoder, à la sortie des lames. Le cristallin est la lentille d'observation et la rétine le plan d'observation.



Le faisceau incident traverse la compensatrice, arrive sur la séparatrice. Une moitié du faisceau la traverse et arrive sur l'œil qui voit l'image principale du trou source, assez brillante. L'autre moitié de ce faisceau retourne vers la compensatrice qui en réfléchit une faible partie vers la séparatrice. Une moitié de ce faisceau traverse la séparatrice et arrive sur l'œil, qui voit une première image parasite du trou source, beaucoup plus faible

que l'image principale. L'autre moitié de ce faisceau retourne vers la compensatrice et contribue à donner une seconde image parasite, etc.

On règle les vis  $V_6$  et  $V_7$  de sorte que les images parasites se confondent avec l'image principale.

### Appeler le professeur

Montrer comment a été effectué le réglage par auto-collimation ainsi que le réglage de la compensatrice.

La précision de ce réglage est limitée par l'ouverture du trou source dont le diamètre n'est pas négligeable.

## 2. Réglage géométrique des miroirs

*Le but de ce réglage est de faire en sorte que  $M_1$  et  $M_2$  soient parallèles. Afin d'y parvenir, ce premier réglage (dit géométrique) sera suivi d'un réglage interférométrique.*

Positionner les vis de réglage fin  $V_4$  et  $V_5$  à mi-course afin de ne pas vous trouver en butée par la suite. Maintenir le système diaphragme-lentille dans l'axe du miroir  $M_1$  et observer dans l'axe du miroir  $M_2$ . On observe une image principale du trou source du collimateur et quelques images parasites comme lors du réglage précédent. On les fait coïncider en agissant sur l'orientation du miroir  $M_1$  ( $V_2$  et  $V_3$ ). Lorsque les images du trou source coïncident, on peut dire alors que  $M_1$  et  $M_2$  font un angle inférieur à  $3'$ .

### Appeler le professeur

Montrer le résultat des réglages géométriques.

## II- Anneaux d'égalé inclinaison

### 1. Observation des anneaux d'égalé inclinaison

Les réglages peuvent se faire avec n'importe quelle lampe spectrale. Néanmoins, avec la source au sodium, on peut être gêné par les battements du doublet. Utiliser, si possible, une source Hg basse pression qui possède une très bonne cohérence temporelle.

Pour observer les anneaux d'égalé inclinaison, l'éclairage doit être convergent sur  $M_1$  afin d'avoir une grande gamme d'angles d'incidence ( $i$ ) et l'observation se fait à l'infini. Pour cela, il faut observer dans le plan focal d'une lentille de sortie convergente ou sur un écran situé à plusieurs mètres du Michelson.

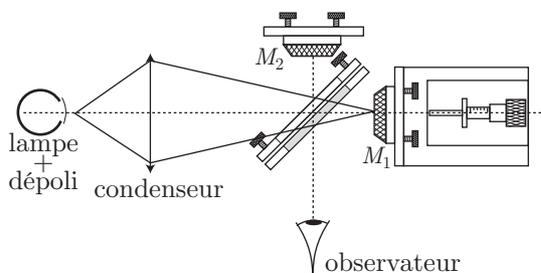


Figure 1

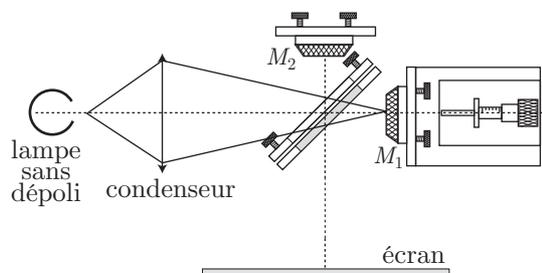


Figure 2

- Retirer le diaphragme et la lentille convergente d'entrée et maintenir provisoirement le dépoli (cf. figure 1 ci-dessus).
- À l'aide du condenseur (lentille cerclée de rouge), faire converger la lumière émise par la source sur le miroir  $M_1$ .
- Regarder à l'œil nu dans la direction de  $M_2$ . Des franges apparemment rectilignes pourraient apparaître : l'angle entre les deux miroirs est encore trop important pour que l'on observe directement des anneaux bien circulaires. On observe alors la section des hyperboles de révolution par un plan qui n'est pas encore perpendiculaire à  $S'_1S_2$ . On voit des branches d'hyperboles ou des portions d'anneaux. Il faut agir doucement et alternativement sur  $V_2$  et  $V_3$  dans un sens tel que les distances entre les branches d'hyperboles augmentent. On voit alors apparaître des anneaux complets qu'il faut ensuite centrer au milieu du champ. Ce sont les anneaux d'égalé inclinaison.
- Retirer le dépoli et observer, sur un écran éloigné de plusieurs mètres (cf. figure 2); les anneaux d'égalé inclinaison doivent apparaître.

### Appeler le professeur

Présenter la figure ainsi obtenue à l'écran et la commenter.

Si la figure d'interférence n'est pas visible, chariotter tout doucement pour se rapprocher de  $e = 0^1$ .

### Question

Visser  $V_1$ . Si l'épaisseur de la lame d'air diminue, les anneaux se dirigent-ils vers le centre ou vers les bords? Leur diamètre augmente-t-il ou diminue-t-il?

On justifiera la réponse à l'aide de calculs et on utilisera ce résultat pour se rapprocher du contact optique.

Si les anneaux se déforment (ellipses), retoucher le réglage de l'appareil.

Au voisinage du contact optique il est difficile de voir si les anneaux rentrent ou sortent, même en regardant sur le bord du champ, car leur diamètre est trop grand. Le champ d'observation présente une teinte uniforme, appelée *teinte plate*.

### Question

Sa couleur dépend de l'épaisseur de la lame d'air qui subsiste. Pourquoi?

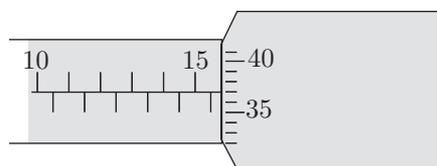
Observer alors les anneaux sur un écran, ainsi que la teinte plate au contact optique.

### Question

Déterminer les valeurs de  $V_1$  entre lesquelles se trouve le contact optique.

Une division du vernier correspond à  $10 \mu\text{m}$  car une rotation de 1 tour de tambour (50 graduations) correspond à une translation de 0,5 mm.

Rechercher la position exacte du contact optique : chercher le centre de symétrie des teintes de Newton. Noter la valeur qui repère alors la position de la vis  $V_1$  de translation du miroir  $M_1$ .



lecture : 15,87 mm

## 2. Étude du doublet jaune du sodium

On utilise le Michelson en lame d'air, éclairé par une lampe à vapeur de sodium et son condenseur puis on observe la figure d'interférences sur l'écran. S'éloigner un peu du contact optique pour observer des anneaux. Noter la position de  $V_1$  à la première antioïncidence. Évaluer la précision. Relever la position de la vis pour les 3 premières antioïncidences (si possible).

### Appeler le professeur

Présenter au moins une anti-coïncidence et expliquer clairement à quoi elle correspond.

### Question

Vérifier que les mesures sont concordantes et évaluer le parcours de la vis entre 2 antioïncidences. En déduire l'écart  $\Delta\lambda$  entre les deux composantes du doublet et l'incertitude sur cet écart, sachant que  $\lambda_1 = 689,0 \text{ nm}$  et que  $\lambda_2 > \lambda_1$ .

## 3. Observation du spectre cannelé

Le Michelson étant réglé au contact optique, remplacer la lampe spectrale et son condenseur par une lampe blanche (dont la lumière sera focalisée sur les miroirs) avec une fente réglable (étroite). Observer à l'œil nu le miroir  $M_2$  à travers un prisme. Un spectre apparaît, ainsi que des cannelures quand on s'éloigne légèrement du contact optique (à l'aide de la vis  $V_1$ ).

*Ces phénomènes sont observés sur une plage de quelques micromètres. Si on tourne trop rapidement  $V_1$ , on ne verra rien du tout!*

### Appeler le professeur

Montrer le spectre obtenu.

### Questions

Observer, décrire et interpréter l'évolution des cannelures dans le spectre.

Repérer avec précision la position du contact optique.

1. Si vous n'observez pas les anneaux, c'est peut-être lié à la cohérence temporelle finie de la lampe : la distance  $e$  est sans doute plus grande que la longueur de cohérence de la source ; il faut la diminuer.



### III- Franges d'égal épaisseur

#### a- Franges en lumière blanche

Le Michelson étant initialement réglé au contact optique<sup>2</sup> :

- éclairer le Michelson en incidence quasi normale avec la lampe blanche. On utilisera le diaphragme circulaire au foyer objet d'une lentille convergente (*cf.* auto-collimation)
- introduire un petit angle  $\alpha$  entre les deux miroirs, en tournant légèrement la vis  $V_5$  par exemple ;
- observer à l'œil nu le miroir  $M_2$  au voisinage duquel se forment les franges

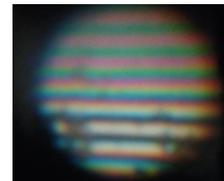
Il faut alors modifier le dispositif de projection pour observer les franges sur l'écran. En effet, elles sont localisées sur le miroir et non à l'infini comme les anneaux. Il faut donc conjuguer les miroirs et l'écran à l'aide d'une lentille convergente la mieux adaptée. On peut placer un petit morceau de papier au voisinage d'un miroir **sans en toucher l'argenteure** et en faire une image nette sur l'écran. Les franges rectilignes doivent alors être visibles sur l'écran.

#### Question

Observer et interpréter la modification de la figure d'interférences lors de la modification de l'angle  $\alpha$  ou de la translation du miroir  $M_1$ .

Les franges d'égal épaisseur ont des couleurs de l'échelle des teintes de Newton de part et d'autre d'une frange centrale noire ou blanche, suivant les traitements anti-reflet sur les lames.

Elles sont parallèles à l'arête du dièdre formé par  $M_2$  et  $M_1'$ .



#### Appeler le professeur

Présenter la frange centrale et les franges des premiers ordres.

#### b- Franges obtenues avec la lampe spectrale

Remplacer la lampe blanche par une lampe à vapeur de mercure. Observer les franges colorées.

#### Questions

- Que se passe-t-il si on translate le miroir  $M_1$  ?
- Que se passe-t-il si on tourne doucement une des vis de réglage fin de  $M_2$  ?

2. Pour atteindre précisément le contact optique, on exploitera le montage du spectre cannelé.

### c- Mesure de l'épaisseur d'une lame de verre

Le Michelson étant réglé au contact optique et éclairé en lumière blanche, introduire une petite lame de verre (lame de microscope) d'épaisseur  $d$ , devant le miroir  $M_1$ . Rapprocher doucement  $M_1$  jusqu'à retrouver les teintes de Newton.

#### Question

---

- Qu'observe-t-on ?
  - La lame est-elle plane ?
  - En déduire l'épaisseur de la lame de verre, en supposant que son indice optique vaut  $n = 1,5$ .
- 

### Matériel disponible :

#### PAILLASSES ÉLÈVES

- 1 interféromètre de Michelson ;
- 1 diaphragme à iris + 1 pied ;
- 1 fente réglable + pied ;
- 1 miroir pour l'autocollimation ;
- 1 lentille convergente  $f' = 15$  cm ou 10 cm, si possible de grand diamètre, sur pied ;
- 1 dépoli monté sur pied ;
- 1 lampe blanche ;
- 1 lampe à vapeur de sodium ;
- 1 lampe à vapeur de mercure ;
- 1 condenseur ;
- 2 lentilles de projection sur pied :  $f' = 1$  m et  $f' \simeq 20$  cm ;

#### PAILLASSES PROFESSEUR

- Spectroscopes à main ou prisme avec support ou prisme à vision directe ;
- Lamelles de microscope avec supports ;
- 1 diode LASER + pied.